



Effets transitoires dans des résonateurs à modes de galerie : Modèle et Applications

Alphonse Rasoloniaina, Stephane Trebaol, Yannick Dumeige, Patrice Féron

► To cite this version:

Alphonse Rasoloniaina, Stephane Trebaol, Yannick Dumeige, Patrice Féron. Effets transitoires dans des résonateurs à modes de galerie : Modèle et Applications. Optique Marseille 2011 - 12ème Colloque sur les Lasers et l'Optique Quantique (COLOQ'12), Jul 2011, Marseille, France. pp.155-156. hal-00638001

HAL Id: hal-00638001

<https://hal.science/hal-00638001>

Submitted on 21 May 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EFFETS TRANSITOIRES DANS DES RÉSONATEURS À MODES DE GALERIE : MODÈLE ET APPLICATIONS

Alphonse Rasoloniaina¹, Stéphane Trebaol², Yannick Dumeige¹, Patrice Féron¹

¹ FOTON, UMR CNRS 6082, Université Européenne de Bretagne, ENSSAT, F-22300 Lannion, France

² Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique, CNRS, Univ Paris-Sud, Campus Polytechnique, RD128, 91127, Palaiseau Cedex, France

feron@enssat.fr

RÉSUMÉ

L'analyse de la réponse en régime transitoire de micro-résonateurs à très hauts facteurs de qualité à un balayage rapide en fréquence d'un laser sonde permet la détermination des régimes de couplage ainsi que de la force de la diffusion Rayleigh intra cavité. L'introduction des non linéarités d'origine thermique dans le modèle analytique permet d'en déduire la puissance injectée dans le mode de haute surtension.

MOTS-CLEFS : *ring-down ; diffusion Rayleigh ; non linéarités thermo-optiques*

1. PHÉNOMÈNES DE "RINGING" DANS UN RÉSONATEUR DE HAUT FACTEUR Q

La méthode de spectroscopie Ring-Down est bien adaptée à la caractérisation de résonateurs de très haute finesse [1] et permet la détermination du facteur de qualité global de la cavité. Nous montrons que l'analyse détaillée par comparaison entre la réponse non stationnaire et un modèle simple donne :

i) les caractéristiques dispersives et de couplage ii) la force de la diffusion Rayleigh intra cavité cause du couplage modal iii) une estimation de la puissance injectée dans le mode. Cette méthode est testée et appliquée sur des résonateurs microsphériques à modes de galerie (WGM) en silice fondue. Le modèle de base et son application à la détermination des régimes de couplage est décrit dans un travail précédent [2]. Pour des résonateurs de haute finesse ($F > 10^5$), la rétrodiffusion Rayleigh intra cavité couple les deux modes de galerie dégénérés u_1 et u_2 se propageant en directions opposées (Fig.1(a)) [3]. Notre modèle simple d'oscillateur harmonique donne pour les deux modes couplés, les équations d'évolution :

$$\begin{cases} \frac{du_1}{dt} = (j\omega_0 - \frac{1}{\tau}) u_1(t) + \frac{j}{2\gamma} u_2(t) + \sqrt{\frac{2}{\tau_e}} s_{in}(t) \\ \frac{du_2}{dt} = (j\omega_0 - \frac{1}{\tau}) u_2(t) + \frac{j}{2\gamma} u_1(t) \end{cases} \quad (1)$$

où $1/\tau = 1/\tau_0 + 1/\tau_e$, $s_{out}(t) = -s_{in}(t) + \sqrt{2/\tau_e} u_1(t)$. Le facteur de qualité Q s'exprime en fonction de la durée de vie globale du champ comme : $Q = \omega_0 \tau / 2$, γ est relatif au taux de couplage entre les deux modes et le signal réfléchi s'exprime comme $r_{out}(t) = \sqrt{2/\tau_e} u_2(t)$. Considérant que la sonde est balayée en fréquence linéairement : $s_{in}(t) = s_0 \exp[j\omega(t)t]$ avec $\omega(t) = \omega_i + V_s t / 2$, nous observons un signal de "ringing". Cette oscillation se décrit analytiquement et la comparaison théorie/expérience permet la déduction des paramètres $\tau_0, \tau_e, \gamma, V_s$ (Fig.1(b)) [4].

2. EFFETS NON LINÉAIRES

Pour une forte puissance du laser sonde, l'absorption résiduelle de la silice cause un échauffement significatif ce qui se manifeste sur la figure 1(b) par une vitesse de balayage anormalement élevée. Ce problème est résolu en introduisant dans le modèle la dérive en fréquence de la résonance due à l'augmentation de température $\Delta\theta$ et à l'indice non linéaire intrinsèque $n_2 = 2,5 \times 10^{-16} \text{ cm}^2 \cdot \text{W}^{-1}$, à savoir :

$$\frac{\Delta\omega(t)}{\omega_0} = \beta \Delta\theta(t) + \frac{n_2 c}{n_0^2 V} |u_1(t) + u_2(t)|^2 \quad (2)$$

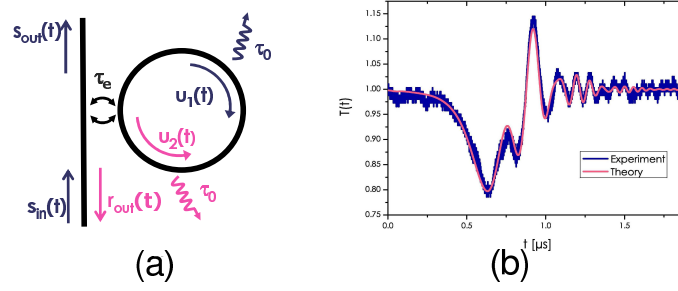


FIGURE 1 : (a) Résonateur WGM couplé à une simple ligne d'accès. Les deux modes u_1 et u_2 sont couplés par la rétrodiffusion Rayleigh. (b) Comparaison théorie/expérience pour le signal de transmission d'une sphère de rayon $r = 60 \mu m$ et une puissance de sonde de $600 \mu W$ à $\lambda_0 = 1,55 \mu m$. Le traitement numérique donne : $\tau_0 = 232 ns$, $\tau_e = 1606 ns$, $1/(2\pi\gamma) = 3,1 MHz$, $V_s/(2\pi) = 19,5 MHz/\mu s$.

puis en remplaçant ω_0 par $\omega_0 + \Delta\omega(t)$ dans l'équation (1) et en intégrant :

$$\frac{d\Delta\theta}{dt} = -\gamma_\theta \Delta\theta(t) + \frac{c\alpha_{abs}}{C_p \rho V n_0} |u_1(t) + u_2(t)|^2 \quad (3)$$

avec $\beta = 8,83 \times 10^{-6} K^{-1}$, $\rho = 2,2 g.cm^{-3}$ la densité de la silice, $V = 4328 \mu m^3$ le volume du WGM, $n_0 = 1,46$, $\gamma_\theta = D/b^2$ la relaxation thermique effective, $D = 9,5 \times 10^{-3} cm^2.s^{-1}$, $b = \lambda_0 \ell^{1/3}/(\pi n_0)$ où ℓ est l'ordre azimuthal du WGM, $C_p = 670 J.kg^{-1}.K$ et $\alpha_{abs} = 2n_0/(c\tau_0)$. A partir des caractéristiques linéaires déduites de la figure 1(b) nous obtenons une vitesse de balayage plus réaliste (Fig.2) où le paramètre ajustable P_{in} correspond à la puissance injectée dans le résonateur.

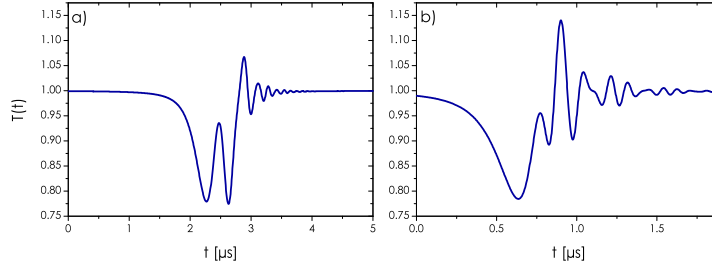


FIGURE 2 : Simulations numériques de la transmission de la sphère décrite Fig.1(b) en tenant compte des effets non linéaires thermiques avec $V_s/(2\pi) = 8,3 MHz/\mu s$ - a) Régime linéaire avec $P_{in} = 475 nW$ b) Régime non linéaire avec $P_{in} = 475 \mu W$

Ce travail est financé par l'ANR à travers les deux projets ORA (ANR 2010 BLAN-0312) et CALIN (ANR 2010 BLAN-1002).

RÉFÉRENCES

- [1] A. A. Savchenkov, A. B. Matsko, V. S. Ilchenko, and L. Maleki, *Opt. Express*, vol. 15, no. 11, pp. 6768–6773, May 2007.
- [2] Y. Dumeige, S. Trebaol, L. Ghiša, T. K. N. Nguyễn, H. Tavernier, and P. Féron, *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 25, no. 12, pp. 2073–2080, Dec 2008.
- [3] D. Weiss, V. Sandoghdar, J. Hare, V. Lefèvre-Seguin, J.-M. Raimond, and S. Haroche, *Opt. Lett.*, vol. 20, pp. 1835–1837, 1995.
- [4] S. Trebaol, Y. Dumeige, and P. Féron, *Phys. Rev. A*, vol. 81, no. 4, p. 043828, Apr 2010.